

## Implementação do Sistema de Previsão de Eventos Hidrológicos Críticos no Município de Manaus / AM

Giulianna Baron

Giulianna Baron

**IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE PREVISÃO DE  
EVENTOS HIDROLÓGICOS CRÍTICOS NO MUNICÍPIO DE  
MANAUS/AM.**

Trabalho apresentado à Universidade  
Federal de Santa Catarina para a  
Conclusão do Curso de Graduação em  
Engenharia Sanitária e Ambiental.  
Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Nadia Bernardi  
Bonumá  
Coorientador: Msc. Pedro Guilherme  
de Lara

Florianópolis  
2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Baron, Giulianna

Implementação do sistema de previsão de eventos  
hidrológicos críticos no município de Manaus/AM. /  
Giulianna Baron ; orientadora, Nadia Bernardi  
Bonumá, coorientador, Pedro Guilherme de Lara, 2017.  
68 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro  
Tecnológico, Graduação em Engenharia Sanitária e  
Ambiental, Florianópolis, 2017.

Inclui referências.


1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Sistema  
de Previsão Hidrológica. 3. Boletim. 4. Eventos  
Hidrológicos Críticos. I. Bonumá, Nadia Bernardi. II.  
de Lara, Pedro Guilherme. III. Universidade Federal  
de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária  
e Ambiental. IV. Título.


Giulianna Baron

**IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE PREVISÃO DE  
EVENTOS HIDRÓLOGICOS CRÍTICOS NO MUNICÍPIO DE  
MANAUS/AM.**


Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos  
para Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e  
Ambiental – TCC II.

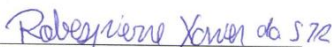
Florianópolis, 27 de junho de 2017.

  
Prof.ª Nadia Bernardi Bonumá, Dr.ª  
Orientadora

  
Eng.º Pedro Guilherme de Lara, Msc.  
Coorientador

**Banca Examinadora:**

  
Prof.ª Patrícia Kazuê Uda, Dr.ª  
Membro da banca  
Universidade Federal de Santa Catarina

  
Eng.º Robespierre Xavier da Silva Junior.  
Membro da Banca



## RESUMO

Os desastres hidrológicos causam enormes prejuízos. Somente para o período de 2007 a 2015, as ocorrências registradas no município de Manaus propiciaram um custo estimado de R\$1,92 bilhões de reais em danos materiais, prejuízos totais e danos ambientais. Além disso, para o mesmo período, estas ocorrências deixaram três mortos, 36.370 desabrigados, somando-se ao todo 165.881 pessoas afetadas. Para amenizar as perdas e alertar a população ribeirinha, tem-se desenvolvido sistemas de previsão e alertas de eventos extremos para que população possa sair da zona de risco. Frente a isso, este estudo implementou o Sistema de Previsão de Eventos Hidrológicos Críticos (SPEHC) em duas bacias hidrográficas, Igarapé Tarumã-Açu e Igarapé do Mindu, que abrangem a região urbana de Manaus, capital do Amazonas. O sistema implementado, além de possuir uma plataforma online, emite boletins via e-mail e alertas para aparelhos celulares. Com base em outros boletins desenvolveu-se um modelo para que seja de fácil compreensão, de forma que auxilie a população que recebe o alerta a sair da zona de risco e/ou acionar as entidades responsáveis para o atendimento na hora do desastre.

**Palavras-chave:** Sistema de Previsão Hidrológica. Boletim. Eventos Hidrológicos Críticos.



## ABSTRACT

In its eventuality, Hydrological disasters cause great damage. Only between 2007 and 2015, occurrences registered in the city of Manaus account for an estimate cost of 1.92 billion in material damage, total loss and environmental damage. Notwithstanding, at this time these occurrences left 3 deceased, 36.370 homeless and a total of 165.881 affected. To ease the losses and warn the "ribeirinha" population, it has been developed a system of prevention and alert of events to assist people in evacuating the high risk zones. In accordance to this matter, this study has implemented the Hydrologic Forecasting System of Critical Events (SPEHC), in two of the hydrological basins, "Igarapé Tarumã-Açu" and "Igarapé do Mindú", which conveys the urban region of Manaus, estate capital of Amazonas. The implemented system not only comprises of an online platform, it also emits online reports via e-mail and mobile devices. Based on other reports a model has been developed so that it is easy to understand, so that it would assist the people that receives the alert to leave the peril zone and/or call the responsables entities for the attendance at the time of the disaster.

**Keywords:** Hydrologic Forecasting System. Bulletin. Critical Hydrological Events.





## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução do aumento do nível de água no rio. ....	21
Figura 2 - Ações da gestão de desastres da nova PNPDEC.....	23
Figura 3 - Formulação do PM Tank Model. ....	28
Figura 4 - Localização. ....	32
Figura 5 - Pedologia. ....	33
Figura 6 - Uso do solo. ....	35
Figura 7 - Média das precipitações mensais [mm] na cidade de Manaus entre 1998 e outubro de 2012.....	36
Figura 8 - Hipsometria.....	38
Figura 9 - Fluxograma de atividades. ....	39
Figura 10 - Valores da precipitação para a Bacia do Igarapé Tarumã-Açu.....	46
Figura 11 - Valores da precipitação para a Bacia do Igarapé do Mindu. ....	46
Figura 12 - Previsão de vazão para a bacia hidrográfica do Igarapé Tarumã-açu.....	48
Figura 13 - Resultado do Sistema SPEHC para a bacia hidrográfica do Igarapé do Mindu. ....	49
Figura 14 - Interface do site com as bacias em estudo. ....	51
Figura 15 - Alerta emitido pelo aplicativo do SPEHC de outra bacia.....	52
Figura 16 - Resultado do Sistema SPEHC para a bacia hidrográfica do Igarapé Tarumã-açu.....	54
Figura 17 - Resultado do Sistema SPEHC para a bacia hidrográfica do Igarapé do Mindu. ....	55
Figura 18 - Modelo de Boletim Emitido pelo SPEHC. ....	56
Figura 19 - Modelo proposto do boletim. ....	58
Figura 20 - Descrição dos dados previstos. ....	59
Figura 21 - Pluviograma e hidrograma. ....	59
Figura 22 - Mapa com a mancha de inundação. ....	60
Figura 23 - Curva chave. ....	60
Figura 24 - Fluxograma de notificação.....	61



## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Modelos hidrológicos utilizados no Brasil para o estudo de inundações.....	25
Quadro 2 - Fórmulas de tempo de concentração. ....	40



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Uso do solo.....	34
Tabela 2 - Características físicas das bacias. ....	40
Tabela 3 - Condutividade hidráulica. ....	41
Tabela 4. Capacidade de infiltração.....	42
Tabela 5 - Valores da Interceptação. ....	43
Tabela 6 - Área das bacias hidrográficas. ....	43
Tabela 7 - Tempo de concentração.....	45
Tabela 8 - Dados de entrada. ....	45



## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

COBRADE – Classificação e Codificação Brasileira de Desastres

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

NCPE - *National Center for Environmental Prediction*

PM TANK MODEL – *Physically-Modified Tank Model*

PNPDEC - Política Nacional de Proteção e Defesa Civil

SIRGAS – *Datum* Sul-americano

SPEHC – Sistema de Previsão de Eventos Hidrológicos Críticos





## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>19</b>
1.1	OBJETIVOS .....	20
1.1.1	Objetivo geral .....	20
1.1.2	Objetivos específicos .....	20
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>21</b>
2.1	INUNDAÇÃO .....	21
2.2	GESTÃO DE RISCO DE DESASTRES .....	22
2.3	Modelos Meteorológicos.....	24
2.3.1	Modelo Regional ETA.....	24
2.4	Modelos Hidrológicos.....	25
2.4.1	PM Tank Model .....	27
2.5	SISTEMA DE PREVISÃO DE EVENTOS HIDROLÓGICOS CRÍTICOS.....	29
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>31</b>
3.1	ÁREA DE ESTUDO.....	31
3.1.1	Bacia Hidrográfica do Igarapé do Mindú (BHM).....	36
3.1.2	Bacia Hidrográfica Tarumã-Açu (BHT).....	37
3.2	FLUXOGRAMA DE ATIVIDADES .....	39
3.3	METODOLOGIA .....	40
3.3.1	Obtenção e Seleção dos Dados – PM Tank Model .....	40
3.3.1.1	Tempo de concentração.....	40
3.3.1.2	Armazenamento .....	41
3.3.1.3	Condutividade Hidráulica .....	41
3.3.1.4	Tempo de Base.....	41
3.3.1.5	Profundidade do Solo.....	42
3.3.1.6	Capacidade de infiltração.....	42
3.3.1.7	Interceptação .....	42
3.3.1.8	Área da bacia.....	43

<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>45</b>
4.1	DADOS DE ENTRADA .....	45
4.2	RESULTADOS DO MODELO.....	45
<b>4.2.1</b>	<b>Divulgação dos Resultados .....</b>	<b>50</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Plataforma Disponível no Site.....</b>	<b>52</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Boletins.....</b>	<b>56</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>63</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>65</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As inundações são fenômenos naturais, condicionadas a fatores climáticos, decorrentes do incremento de precipitação pluviométrica que ultrapassa a quantidade de chuva esperada para a época do ano. Isso faz com que ocorra a elevação do nível dos rios, causando a inundação nas estradas e bairros da cidade, que pode gerar danos ambientais, materiais e sociais (COSTA, 2001).

Uma forma de prevenção desses desastres é através de um sistema de monitoramento e alerta, uma vez que permite que a comunidade seja informada da ocorrência de eventos extremos e possibilite a retirada de pessoas, animais e bens da área a ser atingida. Dessa forma, pode-se garantir as melhores condições de resposta.

Um dos problemas das inundações é o impacto do abastecimento de gêneros alimentícios em certas localidades, cujo transporte majoritário é fluvial, como ocorre na cidade de Manaus. A região da orla fluvial do município é um ponto de carregamento e descarregamento de produtos agrícolas e de pesca, além de diversos materiais. Quando há transbordamento do rio, há um impacto diretamente na rede comercial, bem como nas comunidades rurais e ribeirinhas instaladas em suas margens. Assim, pode ocorrer a danificação de moradias, pontes, redes de esgoto, de distribuição de água e de energia, bueiros, ruas e sistema de transporte (SINDEC, 2009).

Há diversos problemas decorrentes das inundações. Pode-se citar o refluxo de esgotamento na orla e em canais contribuintes do leito maior, na área urbana; a contaminação do ar por micropartículas nocivas conduzidas por evaporação e inaladas por ocupantes dos espaços alagados; a contaminação da água por gases resultantes de resíduos sólidos de origem animal e vegetal acomodados no fundo dos leitos ou flutuantes nos mesmos; e contaminação do solo por retenção de resíduos sólidos (SINDEC, 2015).

De acordo com os relatórios do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres, para o período de 2005 a 2015, tem-se que as ocorrências de eventos hidrológicos representaram 39% dos desastres que ocorreram no município, com um valor de perdas totais estimado em 1,94 bilhões de reais em danos materiais, ambientais e prejuízos econômicos.

Além dos prejuízos econômicos e ambientais, os desastres naturais provocam fatalidades. Sendo estas ocorrências responsáveis por afetar 165.901 pessoas, deixando 13 mortos e 36.370 desabrigados.

Mediante aos problemas apresentados, este estudo implementou o Sistema de Previsão de Eventos Hidrológicos Críticos (SPEHC) em duas

bacias hidrográficas, que abrangem a região urbana de Manaus: Igarapé Tarumã-açu e Igarapé do Mindu. Este sistema permite a emissão de boletins diários para o auxílio de técnicos e gestores de interesse, para que ações frente aos desastres possam ser tomadas com antecedência. Além disso, é uma forma de divulgação, facilitando o entendimento e a precaução dos civis, mediante a esses problemas hidrológicos extremos.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Implementar um sistema de modelagem hidrológica para o município de Manaus com a finalidade de alerta de eventos hidrológicos críticos.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

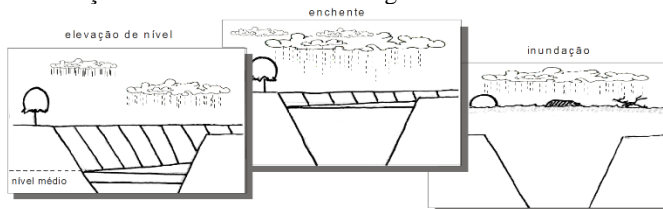
- Definir as bacias hidrográficas suscetíveis a inundação;
- Implementar o sistema de previsão de eventos hidrológicos críticos;
- Apresentar um boletim com um padrão de informação.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 INUNDAÇÃO

Segundo Kobiyama et al. (2006), inundação é o aumento do nível do rio além da sua vazão normal, ocorrendo o transbordamento de suas águas sobre as áreas próximas, conhecidas como planícies de inundação. Quando o rio fica praticamente cheio, mas não ocorre o transbordamento, tem-se uma enchente (Figura 1).

Figura 1 - Evolução do aumento do nível de água no rio.



Fonte: Kobiyama et al, 2006.

As inundações, na maioria das vezes, são resultantes de precipitações pluviométricas intensas e concentradas, causadas também pela elevação dos leitos dos rios por assoreamento; redução da capacidade de infiltração do solo causada por ressecamento, compactação e/ou impermeabilização; saturação do lençol freático por antecedentes próximos de precipitações continuadas; drenagem deficiente; estrangulamento de leitos de rios e degelo (CASTRO, 2003).

Devido à grande diversidade de desastres existentes no Brasil, sentiu-se a necessidade de padronizar a nomenclatura relacionada ao tema. Isso possibilita o desenvolvimento de uma base teórica para a criação de programas de banco de dados, relacionando-os com uma base cartográfica.

Em 2012, a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE), definida pelo Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil, classificou os desastres hidrológicos de acordo com a sua evolução, separando-os em três subgrupos: inundações, enxurradas e alagamentos.

As inundações, anteriormente conhecidas como inundações graduais, ocorrem quando o transbordamento é gradual. São geralmente ocasionadas por chuvas prolongadas em áreas de planície fora dos limites normais de um curso de água. (COBRADE, 2012)

As enxurradas, também denominadas de inundações bruscas, ocorrem de maneira súbita, com pouco tempo de alerta, sendo caracterizadas por um deslocamento rápido e violento. São provocadas por chuvas intensas e concentradas, normalmente em bacias de relevo acidentado. As vertentes com altas declividades predispoem as águas a atingirem grandes velocidades em curto tempo, causando inundações bruscas e com grande poder destrutivo. (COBRADE, 2012)

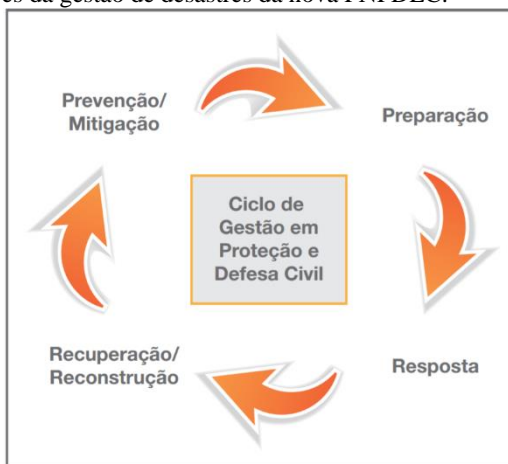
Os alagamentos são caracterizados pela extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana, ocasionando o acúmulo de água em ruas, calçadas e outras infraestruturas. Ocorrem frequentemente em cidades mal planejadas ou com grande crescimento desordenado, o que dificulta a realização de obras de drenagem e esgotamento (CASTRO, 2003). É comum ocorrer alagamentos simultaneamente com enxurradas em áreas urbanas acidentadas, potencializando danos e prejuízos ocorridos.

## 2.2 GESTÃO DE RISCO DE DESASTRES

Como forma de prevenção de desastres, a gestão de risco é necessária de forma que atenda a população antes, durante e após a sua ocorrência. Isso ocorre, pois, para implantar medidas preventivas, é necessário conhecer quais os riscos que a população está exposta.

Com a publicação da nova Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, aprovada pela Lei nº 12.608 de 2012, a administração de desastres passou a ser vista por um ciclo composto por cinco fases: Prevenção; Mitigação; Preparação; Resposta e Recuperação (Figura 2).

Figura 2 - Ações da gestão de desastres da nova PNPDEC.



Fonte: Secretaria Estadual da Defesa Civil, [2014?].

São nas ações de Prevenção que são feitas a identificação, análise e avaliação do risco.

O planejamento de uso do solo e a prevenção técnica são processos de Mitigação. A partir disso, é feita a Preparação, que visa a criação de capacitação, planejamento de emergência, monitoramento e alertas precoces (CNM, 2016).

Durante o acontecimento do desastre, tem-se a ação denominada como Resposta, que está relacionada com a busca e com o resgate. Após a ocorrência do desastre, há a avaliação de danos, a reabilitação e a reconstrução, que são ações com o nome do processo de Recuperação.

Inserida na etapa de Prevenção e Mitigação, a previsão hidrológica está se tornando cada vez mais importante no apoio à gestão integrada de recursos hídricos, uma vez que se torna essencial na operação de infraestruturas hídricas e para a mitigação de catástrofes naturais, como inundações. (WMO, 2009)

Em 2014, o Banco Mundial analisou o custo-benefício da implantação de sistemas de alerta antecipado, nos quais tiveram um índice de economia médio de 15,7%, e em alguns casos foram registrados índices de economia de até 57% (Wethli, 2014).

Para uma boa previsão hidrológica, algumas informações são necessárias, como os parâmetros físicos da bacia hidrográfica, dados hidrológicos e hidrometeorológicos.



Os parâmetros físicos da bacia, parte obtida pelos sistemas de informação geográfica (SIG), são necessários para a calibração e visualização do modelo hidrológico, sendo estes os responsáveis pelo comportamento do hidrograma gerado. O desempenho do sistema de previsão é dependente da qualidade e quantidade dos dados usados para estabelecer os parâmetros. Esses dados consistem em informações como o tipo de solo, a geologia, valores de elevação, entre outros (WMO, 2009).

Os dados hidrológicos são usados para o desenvolvimento de modelos e/ou uso operacional e, os meteorológicos, para a previsão. Ambos são fundamentais para o sistema de previsão hidrológica e a qualidade do sistema de previsão está relacionada com a adequabilidade destes dados (WMO, 2009).

## 2.3 MODELOS METEOROLÓGICOS

Os modelos meteorológicos são ferramentas de representação da realidade, que simulam eventos atmosféricos, com base em diversos parâmetros previamente inseridos. São, normalmente, baseados em leis físicas fundamentais e representam o estado dinâmico do comportamento da atmosfera.

Uma maior complexidade de uma realidade, pressupõe uma maior quantidade de parâmetros de entrada e uma maior dificuldade na elaboração de um modelo.

Os modelos de mesosescala visam a refinar o detalhamento das previsões geradas por modelos de grande escala, possibilitando previsões destinadas a áreas limitadas e usuários finais específicos. Sendo assim, a previsão numérica do tempo em mesoescala é fundamental, pois auxilia a análise de fenômenos meteorológicos de escala menor (RESENDE, 2014)

### 2.3.1 Modelo Regional ETA

O Modelo Regional ETA é um modelo numérico que representa o estado atmosférico em pontos grade. Foi desenvolvido pela Universidade de Belgrado em conjunto com o Instituto de Hidrometeorologia da Iugoslávia.

O sistema necessita de outros modelos globais que o complementam. Para as condições de contorno lateral ele utiliza o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) e, a condição inicial, é fornecida pelo NCEP (National Center for Environmental Prediction) (VIEIRA JR et al, 2009).

As variáveis prognósticas do modelo são: temperatura do ar, umidade, pressão à superfície, vento horizontal, energia cinética turbulenta e chuva ou gelo das nuvens previstas em intervalos de seis horas. Com esses dados de entrada, há o cálculo dos seguintes parâmetros: movimento horizontal, hidrostática, termodinâmica, derivadas da continuidade e a umidade.

O modelo ETA é utilizado operacionalmente no CPTEC para previsões de 3 a 11 dias, que varia de acordo com a resolução da grade regular. O domínio abrange grande parte da América do Sul, sendo uma das principais vantagens a coordenada vertical e a estabilidade numérica (CHOU et al, 2005).

## 2.4 MODELOS HIDROLÓGICOS

Os modelos hidrológicos são usados para representar o comportamento da bacia hidrográfica de forma simplificada e, assim, junto com um modelo de previsão de precipitação, pode se antecipar aos eventos para que medidas preventivas possam ser tomadas (TUCCI, 2005).

Um mesmo processo pode ser representado de diferentes maneiras, não existindo um modelo único que seja o melhor e, sim, o mais apropriado para determinados casos. Os modelos se diferenciam em função dos dados utilizados, discretização, prioridades da representação dos processos e dos objetivos a serem alcançados (TUCCI, 2005; RENNO; SOARES, 2000).

Se a chance da ocorrência das variáveis é levada em conta, e o conceito de probabilidade é introduzido na formulação do modelo, o processo e o modelo são ditos estocásticos. Se o modelo segue uma lei definida, e as variáveis de entrada são conhecidas e apresenta um conjunto de saída, o modelo e os processos são ditos determinísticos (TUCCI, 2005).

Alguns dos modelos hidrológicos utilizados no Brasil para estudos de inundações são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Modelos hidrológicos utilizados no Brasil para o estudo de inundações.

Modelo	Autor	Ano	Objetivos Específicos
IPHS-1/HIDRORAS	Barros et al.	2007	Eventos críticos foram simulados com a transformação Chuva-Vazão integrada por meio dos modelos IPHS-1 e HIDRORAS, nos quais os resultados

<b>Modelo</b>	<b>Autor</b>	<b>Ano</b>	<b>Objetivos Específicos</b>
			foram comparados. O objetivo deste trabalho foi fornecer informações para apoiar as tomadas de decisões no Plano Diretor.
IPH4	Campana e Tucci	1999	Neste estudo é apresentada a relação entre parâmetros de modelos hidrológicos e de planejamento urbano. O modelo hidrológico-hidrodinâmico IPH IV, associado a um Sistema Geográfico de Informações foi utilizado para prever hidrogramas de alguns cenários de urbanização.
ModCel	Carneiro et al.	2010	Avaliar os impactos causados pela expansão da urbanização, assim como o impacto da elevação do nível do mar nas condições de drenagem, conforme as estimativas do IPCC.
SMAP/ETA-CPTEC	Castanharo et al.	2007	Modelo de previsão de vazões com horizonte de 12 dias para uma bacia específica.
DPFT/Redes Neurais Artificiais	Cruz	2010	Comparação de duas metodologias de previsão de inundação (DPFT e Redes Neurais), usando modelos com poucos parâmetros de Calibração.
ETA/MGB-IPH	Silva	2007	Apresentação do resultado da integração entre o modelo regional atmosférico ETA e o modelo hidrológico distribuído MGB-IPH, para a previsão de vazões de curto prazo.
Método PVP (TCEV e GRADEX)	Fernandes e Naghettini	2007	Descreve a essência do método PVP (3 princípios para melhorar as estimativas de quantis de fluxo extremo: substituição do espaço, adicionando mais estrutura aos modelos, foco no topo por causa das distribuições de probabilidade) e ilustra o seu uso aplicado em um uma bacia
SWMM	Garcia e Paiva	2006	Avalia a aplicação do Modelo de Gerenciamento de Precipitação (SWMM) numa bacia urbana monitorada, analisando as mudanças que ocorrem no hidrograma de cheia para três períodos com diferentes usos e coberturas do solo

<b>Modelo</b>	<b>Autor</b>	<b>Ano</b>	<b>Objetivos Específicos</b>
AHP	Magalhães et al.	2011	Comparação entre dois diferentes métodos para mapear áreas de risco suscetíveis a inundação
A e C2/MOUSE	Meller e Paiva	2007	Simulação da metodologia simplificada para alagamentos, aplicada a uma bacia hidrográfica pequena usando dados observados
MGB-IPH	Meller et al.	2012	Método de assimilação de dados empíricos aplicados a inundações em tempo real numa bacia de médio porte localizada no sudeste do Brasil
Células de Escoamento	Miguez e Mascarenhas	1999	O principal objetivo do estudo é modelar o comportamento das inundações em áreas urbanas
MCT	Pontes e Collischohn	2012	Avalia o método Muskingum-Cunge-Todini (MCT) com outros métodos de roteamento de vazão num canal hipotético.
Topmodel	Varella e Campana	2000	Análise da influência da resolução espacial do DTM na performance dos modelos.
PM Tank Model	Lara e Kobiyama	2012	Desenvolvimento de um novo modelo de tanque com o conceito de dinâmica através de equações não-lineares hiperbólicas.

Fonte: Adaptado de BRIGHENTI, et al (2014).

### 2.4.1 PM Tank Model

O PM Tank Model, proposto por Lara e Kobiyama (2012), é um modelo matemático com embasamento físico utilizado para eventos hidrológicos de resposta rápida e abrupta. É uma variante do Tank Model, desenvolvido por Sugawara (1995) (LARA et al. 2015).

O modelo segue as três hipóteses da mecânica dos fluídos, sendo elas: (i) o volume de controle é uma superfície fechada; (ii) o escoamento ocorre perpendicularmente à superfície de controle; e (iii) o fluído é incompressível.

Os parâmetros físicos utilizados para caracterizar o escoamento da bacia são: tempo de concentração, tempo de resposta do escoamento de base, condutividade hidráulica, profundidade do solo, capacidade de infiltração do solo, ponto de murcha permanente e relação de resposta entre o hidrograma e o hietograma. Estes parâmetros de ajustes podem ser

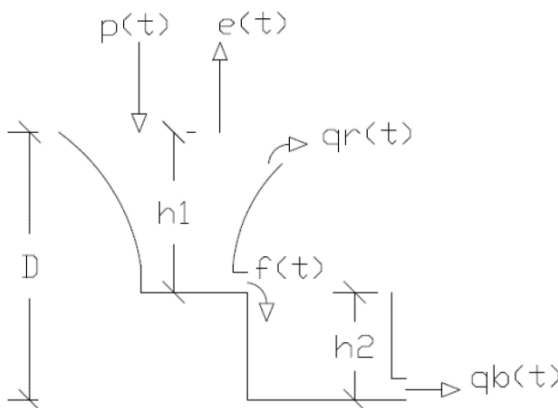
buscados em dados de monitoramento e nas características físicas da bacia (LARA; KOBIYAMA, 2012).

Para que não haja necessidade de condições de contorno em regiões externas ao sistema ou a jusante do ponto considerado, foi determinada a utilização de equações diferenciais quadráticas, as quais passam a conferir um comportamento hiperbólico não-linear na geração do escoamento superficial e na infiltração, que caso haja alguma influência a jusante, esta formulação consegue absorver tal influência (LARA; KOBIYAMA, 2012).

O esquema do funcionamento do PM Tank Model está apresentado na Figura 3, onde:  $p(t)$  é a intensidade da chuva [mm/min];  $e(t)$  é a evapotranspiração real [mm/min];  $q_r(t)$  é o fluxo do escoamento superficial [mm/min];  $q_b(t)$  é o fluxo do escoamento de base [mm/min];  $h_1$  é a altura de água armazenada na camada superficial do solo [mm];  $h_2$  é a altura de água armazenada na camada mais profunda do solo [mm] e  $D$  é a profundidade do solo [mm].

O tanque 1 é tido como a camada mais rasa do perfil desse solo e o tanque 2 como a camada mais profunda responsável pela manutenção do escoamento de base (LARA; KOBIYAMA, 2012).

Figura 3 - Formulação do PM Tank Model.



Fonte: LARA e KOBIYAMA, 2012.

Este modelo possui uma estrutura simples que demanda poucos parâmetros, de forma a permitir seu uso em regiões com carência de dados. Por empregar relações funcionais não-lineares, o modelo representa de forma eficiente os eventos de cheias, sendo adequado para

ser implementado em sistemas de previsão que necessita de respostas rápidas, para melhor auxiliar o gestor no momento da catástrofe.

Como citado anteriormente, o modelo PM Tank Model foi embasado no modelo Tank Model, que é um dos modelos indicados pela Organização Mundial de Meteorologia (World Meteorological Organization, 2009) para a implementação nos sistemas de previsão hidrológica.

## 2.5 SISTEMA DE PREVISÃO DE EVENTOS HIDROLÓGICOS CRÍTICOS

O Sistema de Previsão de Eventos Hidrológicos Críticos (SPEHC), desenvolvido pela empresa Fractal Engenharia em parceria com o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e outras universidades, é um sistema de previsão do tipo *Software as a service* (SaaS), na qual as informações necessárias para a previsão podem ser recebidas pelo corpo técnico em formato de boletins, de forma que possa ser utilizado de maneira integrada com outros sistemas de gestão.

O SPEHC, atualmente, tem como base o modelo hidrológico PM Tank Model (LARA; KOBIYAMA, 2012), podendo ser inserido outro modelo hidrológico, de acordo com a sua aplicação. É composto também por um sistema de assimilação de dados de pluviometria de diversas fontes, como telemetria, radares e dados de satélite (LARA et al, 2015).

Os dados de pluviometria provenientes destas fontes são utilizados no aquecimento do sistema para então ser feita a previsão com os modelos meteorológicos.

Estes modelos utilizam os dados pluviométricos proveniente de estações telemétricas, radares ou satélites. Isso permite que o modelo preveja desastres de forma confiável, pois simula cenários de vazões em tempo real. As previsões são feitas por conjunto (ensemble), nas quais são consideradas várias faixas de probabilidade de ocorrência e intervalos de incerteza da previsão (LARA et al, 2015).



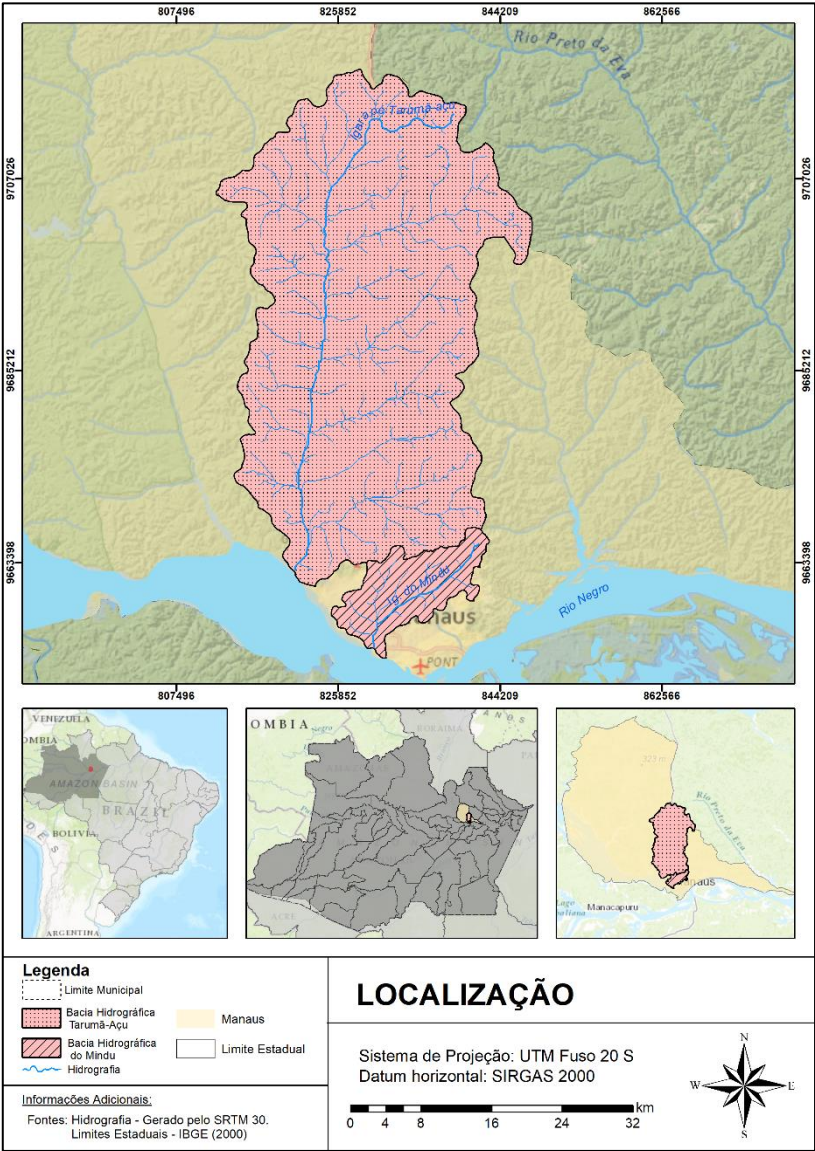
### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 ÁREA DE ESTUDO**

A área de estudo compreende duas bacias hidrográficas localizadas na região Norte do Brasil, no município de Manaus, capital do estado do Amazonas. As bacias hidrográficas estudadas são: do Mindu, que está inserida na área urbana; e a Tarumã-açu, que possui grande proporção de área, se comparada a bacia do Mindu, e compreende uma menor superfície urbana (Figura 4).



Figura 4 - Localização.

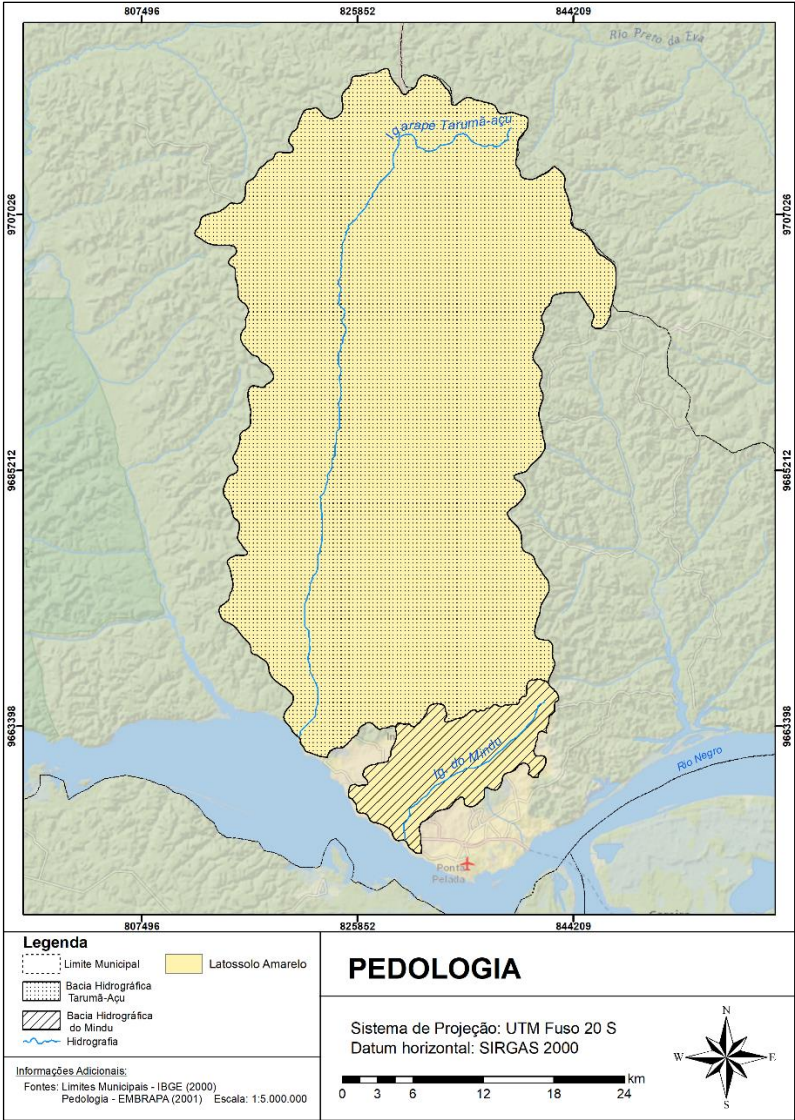


Fonte: Autora

Os solos encontrados na região são os Latossolos Amarelos, conforme mostra a Figura 5. Estes, em geral, são solos profundos e bem

drenados, com predominância de textura argilosa. Apresentam boas condições físicas de retenção de umidade e boa permeabilidade (EMBRAPA, 2006).

Figura 5 - Pedologia.



Fonte: Autora

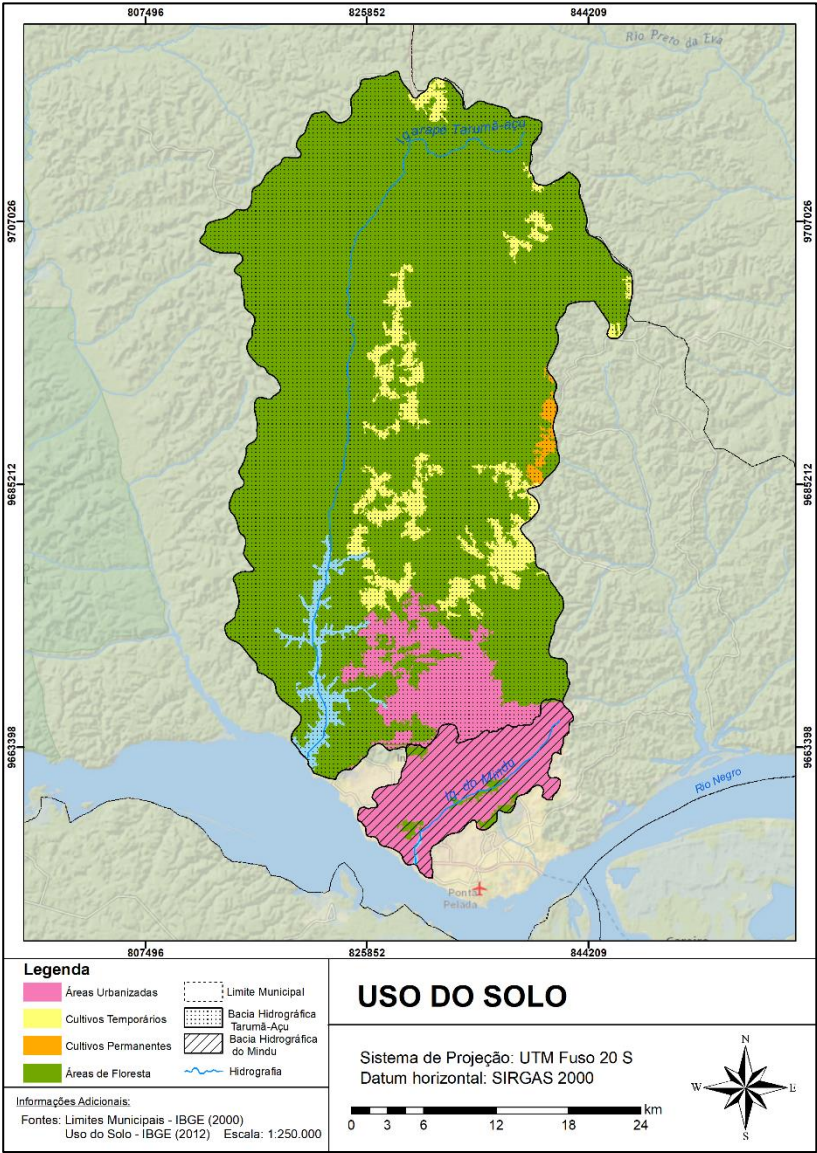
O uso do solo foi separado em quatro categorias, são elas: áreas urbanas, cultivos temporários, cultivos permanentes e áreas de floresta (Figura 6). Os percentuais de uso das bacias são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Uso do solo.

<b>Uso do solo</b>	<b>Bacia do Igarapé Tarumã- açu</b>	<b>Bacia do Igarapé do Mindu</b>
	<b>[%]</b>	<b>[%]</b>
<b>Áreas Urbanizadas</b>	5,67	93,23
<b>Cultivos Temporários</b>	5,91	-
<b>Cultivos Permanentes</b>	0,48	-
<b>Áreas de Floresta</b>	87,94	6,77

Fonte: Autora.

Figura 6 - Uso do solo.



Fonte: Autora

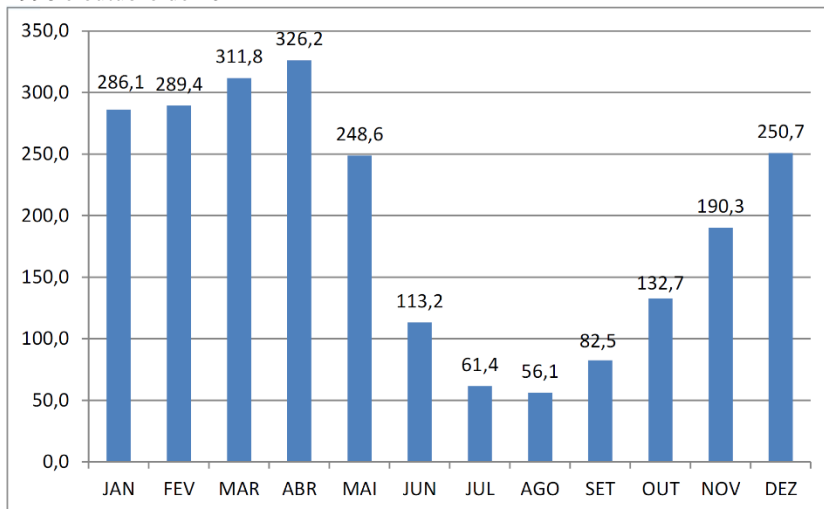
O clima da região de Manaus, de acordo com a classificação proposta por Köppen (1948), pertence ao grupo A de clima tropical, sendo



dividido em quatro categorias: clima tropical úmido ou super úmido (Af); clima tropical úmido ou subúmido (Am); clima tropical, com inverno seco (Aw); e clima tropical quente e úmido, com estação seca no verão (As).

A temperatura média normalmente é superior a 26 °C, com um índice pluviométrico elevado, em torno de 2.369 mm anuais (Figura 7), sendo, de março a abril, o bimestre de maior precipitação; e, de julho a agosto o de menor (CPRM, 2012). Normalmente, tem-se o maior registro de inundações nos meses de janeiro a abril que são os meses de maior precipitação.

Figura 7 - Média das precipitações mensais [mm] na cidade de Manaus entre 1998 e outubro de 2012



Fonte: CPRM, 2012.

### 3.1.1 Bacia Hidrográfica do Igarapé do Mindú (BHM)

A bacia hidrográfica Igarapé do Mindú apresenta uma área de 118,46 km<sup>2</sup> e está inteiramente localizada na área urbana de Manaus, com 93,23% de superfície urbanizada. Apresenta baixa declividade e concentra aproximadamente 37% da população do município. Dentre as bacias urbanas, é a mais representativa em extensão, cruzando a cidade no sentido nordeste-sudoeste (MACENA, 2016). O rio principal da BHM é o Igarapé do Mindu, com 18,25 km de extensão e uma declividade de 0,0033 m/m.

As altitudes mais elevadas da BHM, com base na curva hipsométrica (Figura 8), estão entre 60 e 90 m e encontram-se ao nordeste da bacia.

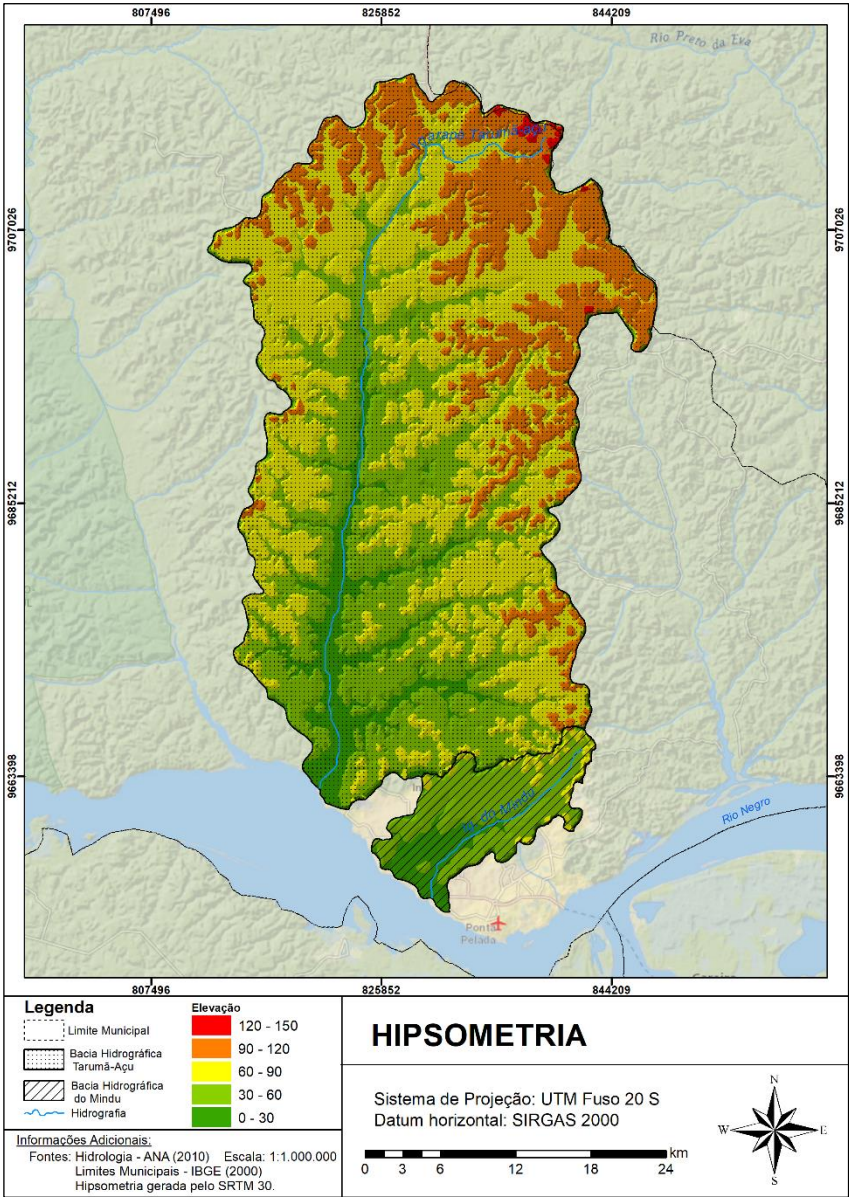
### **3.1.2 Bacia Hidrográfica Tarumã-Açu (BHT)**

A Bacia Hidrográfica Tarumã-açu apresenta área de 1.354,95 km<sup>2</sup>, com somente 5,67% urbanizada, enquanto o restante é floresta e cultivos. O Rio Tarumã-Açu possui 68,02 km de extensão e uma declividade de 0,0004 m/m.

Até 2010, a BHT era considerada parte da área rural da cidade de Manaus, por isso muitas ocorrências de desastres não teriam sido registradas, devido às dificuldades de acesso, e sinal de telefonia precária. Esse problema, segundo os moradores, inviabilizava chamadas de emergência (MACENA, 2016).

As altitudes mais elevadas da BHT, de acordo com a curva hipsométrica gerada (Figura 8), estão entre 120 e 150 m, ao norte da bacia.

Figura 8 - Hipsometria.

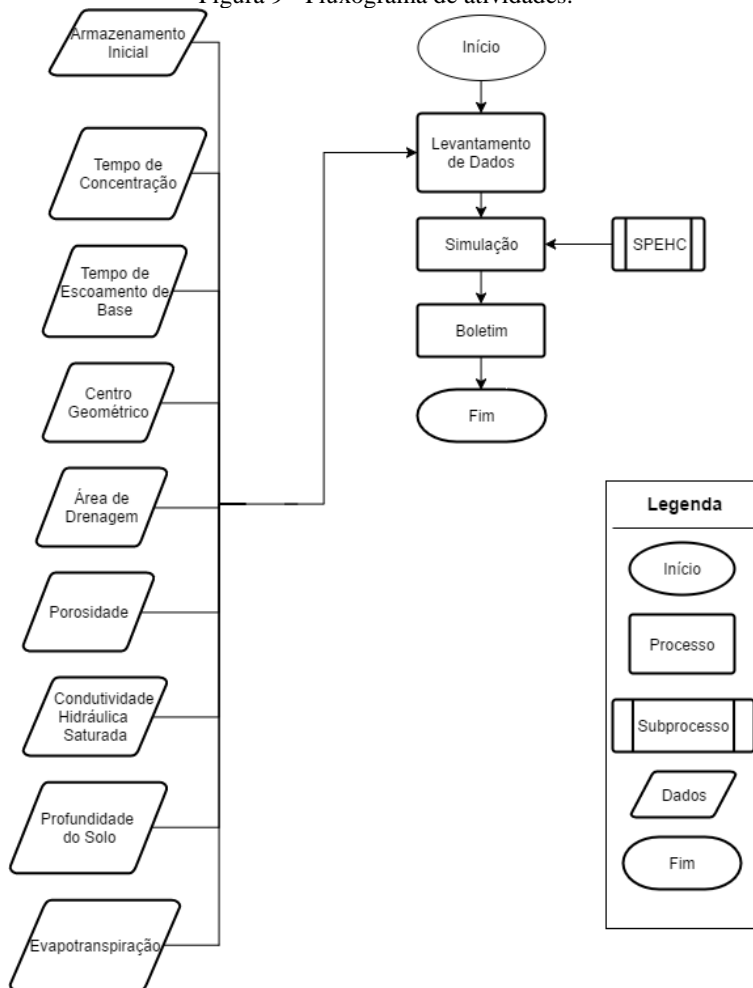


Fonte: Autora

### 3.2 FLUXOGRAMA DE ATIVIDADES

A seguir na Figura 9 é apresentado o fluxo de atividades e informações do presente estudo.

Figura 9 - Fluxograma de atividades.



Fonte: Autora



### 3.3 METODOLOGIA

Foi implementado o Sistema de Previsão de Eventos Hidrológicos (SPEHC) nas duas bacias hidrográficas. O modelo meteorológico selecionado foi o ETA.

#### 3.3.1 Obtenção e Seleção dos Dados – PM Tank Model

Os parâmetros de entrada do PM Tank Model foram: tempo de concentração, armazenamento de água, condutividade hidráulica do solo, tempo de base, profundidade do solo hidrológico, capacidade de infiltração, interceptação e área da bacia.

##### 3.3.1.1 Tempo de concentração

O tempo de concentração foi calculado com equações empíricas, que consideram as características físicas das bacias. As fórmulas utilizadas para estimá-lo são apresentadas no Quadro 2 e as características físicas de cada bacia são apresentadas na Tabela 2.

Quadro 2 - Fórmulas de tempo de concentração.

Nome	Equação (1)	Local	Área [km <sup>2</sup> ]	Tipo
Ven Te Chow	$T_c = 0,160L^{0,64}S^{-0,32}$	EUA	1,1/19	Rural
Corps Engineers	$T_c = 0,191L^{0,76}S^{-0,19}$	EUA	< 12000	Rural
Carter	$T_c = 0,0977L^{0,6}S^{-0,3}$	EUA	< 21	Urbana
Schaake <i>et al</i>	$T_c = 0,0828L^{0,24}S^{-0,16}A_{imp}^{-0,26}$	EUA	< 0,7	Urbana

$T_c$  [h],  $A$  [km<sup>2</sup>],  $L$  [km],  $S$  [m/m],  $A_{imp}$  [adim].

Fonte: Adaptado de Silveira, 2005

Tabela 2 - Características físicas das bacias.

Parâmetros	Bacia Tarumã-açu	Bacia do Mindu
L [km]	68,02	18,25
S [m/m]	0,0004	0,0033
A [km <sup>2</sup> ]	1.354,95	118,46
Hm [m]	78,02	49,65
$A_{imp}$ [adim]	0,0567	0,9323

Fonte: Autora.

A bacia Igarapé do Mindú foi considerada urbana, e com base nas recomendações de Silveira (2005) foram consideradas as fórmulas de Carter e Schaake. Já a Tarumã-açu, classificada como rural, foram utilizadas as fórmulas de Ven Te Chow e Corps of Engineers.

### 3.3.1.2 Armazenamento

A capacidade máxima de armazenamento foi determinada por:

$$S_b = D \cdot \phi \quad (01)$$

Onde D é a profundidade do solo [mm] e  $\phi$  é a porosidade média da bacia [adim].

### 3.3.1.3 Condutividade Hidráulica

Corrêa (1985) determinou valores de condutividade hidráulica para um latossolo amarelo. Este solo foi retirado da Unidade de Execução de Pesquisa de Âmbito Estadual (UEPE de Manaus), da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) através do permeâmetro de carga constante.

Já Miranda (2017) calculou a condutividade hidráulica da área urbana de Manaus a partir de dados de transmissividade.

Os valores da condutividade hidráulica são apresentados na Tabela 3. O valor adotado foi a média entre eles.

Tabela 3 - Condutividade hidráulica.

Fonte	Valor [mm/h]
Corrêa (1985)	171,7
Miranda (2017)	170,83

### 3.3.1.4 Tempo de Base

Foi estimado o valor de 0,0001 [adim] por meio de experiências empíricas realizadas.

### 3.3.1.5 Profundidade do Solo

Foi adotado o valor de 400 mm, por se tratar da profundidade de solo analisado por grande parte dos estudos de caracterização dos solos encontrados.

### 3.3.1.6 Capacidade de infiltração

Em 1985, Corrêa fez a caracterização de um latossolo amarelo, retirado da UEPE de Manaus, da EMBRAPA, na qual determinou a capacidade de infiltração do solo pelo Método do duplo cilindro.

Em 2015, Frota Filho realizou o ensaio do infiltrômetro de *Hills* para amostras de solos coletados na bacia hidrográfica Colônia Antônio Aleixo, Manaus.

Os valores dos ensaios podem ser visualizados na Tabela 4.

Tabela 4. Capacidade de infiltração.

Fonte	Valor [mm/s]	Área
Corrêa (1985)	0,174	Área Florestal
Frota Filho (2016)	0,025	Área Vegetada
	0,0028	Área sem vegetação

### 3.3.1.7 Intercepção

A intercepção calculada por Drucker (2001) utilizou o programa TOPOG a partir de uma série de dados coletados de 15 de junho de 1999 a 26 de agosto de 2000, na micro bacia da estação experimental de silvicultura tropical do INPA a 70 km de Manaus.

Os valores obtidos por Franken et al (1982) para a bacia modelo localizada numa reserva a 45 km do centro de Manaus, na Bacia Igarapé Tarumã-açu. Usaram-se três pluviômetros a céu aberto, 30 pluviômetros instalados no interior e mais os sistemas de coletores de água escoada pelo tronco em 37 árvores.

Para o mesmo ano, 1982, Leopoldo et al. (1982) obtiveram valores para a intercepção pelo Método do balanço hídrico.

Os resultados dos estudos mencionados são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Valores da Intercepção.

<b>Fonte</b>	<b>Valor [%]</b>
Drucker (2001)	13,4
Franken et al (1982)	21,3
	25,6
Leopoldo et al (1982)	28,4*
	27,8**

\*Valor médio do mês de maio. \*\* Valor médio do mês de junho.

### 3.3.1.8 Área da bacia

As áreas das bacias hidrográfica foram obtidas com o auxílio do software ArcGIS 10.2.2, os valores estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Área das bacias hidrográficas.

<b>Bacia Hidrográfica</b>	<b>Área [km²]</b>
Tarumã-açu	1.354,95
do Mindu	118,46

### 3.3.2. OBTENÇÃO DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Os dados medidos de chuva, para o período de 25 de abril de 2017 a 11 de junho de 2017, foram assimilados no GPM Early, por triangulação de acordo com a georreferência. A partir disso, o modelo numérico atmosférico ETA realizou a previsão de chuva.

### 3.3.3. ASSIMILAÇÃO DO MODELO

O SPEHC, junto com os resultados obtidos do PM Tank Model e do Modelo ETA, gera a previsão de vazão por conjunto e emite os boletins com os resultados.

Os boletins gerados, além de estarem disponível na página da internet <<http://www.fractaleng.com.br/spehc.php>>, são enviados via correio eletrônico. Em caso de alerta, é enviado uma mensagem via telefonia móvel.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 DADOS DE ENTRADA

O tempo de concentração foi calculado através das fórmulas citadas anteriormente. Os resultados estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Tempo de concentração.

<b>Fórmula</b>	<b>Bacia Tarumã-açu</b>	<b>Bacia do Mindu</b>
Ven Te Chow [h]	28,27	-
Corps Engineers [h]	20,48	-
Carter [h]	-	3,10
Schaake [h]	-	0,42

O valor adotado para cada bacia foi a média calculada das fórmulas sugeridas para cada situação segundo Silveira (2005).

Os dados de entrada estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Dados de entrada.

<b>Dados de Entrada</b>	<b>Bacia Igarapé Tarumã-açu</b>	<b>Bacia Igarapé do Mindu</b>
Armazenamento inicial [mm]	70,8	70,8
Tempo de Concentração [hr]	24,38	1,76
Condutividade hidráulica [mm/hr]	171	171
Tempo de base [adim]	0,0001	0,0001
Profundidade do solo hidrológico [mm]	400	400
Capacidade de infiltração [mm/s]	0,025	0,0028
[%] Interceptação	28,47	6,77
Área da bacia [km²]	1.360,14	118,94

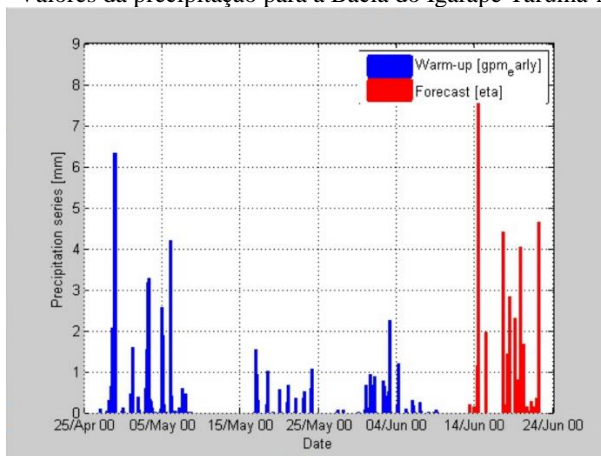
### 4.2 RESULTADOS DO MODELO

Os parâmetros de entrada para o PM Tank Model foram inseridos no SPEHC, no qual aqueceu o modelo com os dados de chuva do GPM Early com 45 dias. Este aquecimento, procedimento necessário para estabilizar os valores numéricos, assimilou os dados pluviométricos encontrados para região georreferenciada nos centros geométricos das

bacias hidrográficas. Após, foi realizada a previsão da precipitação com o modelo meteorológico ETA.

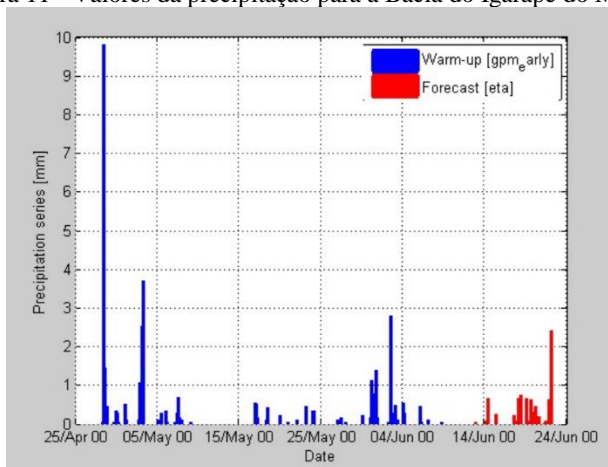
Na Figura 10 e na Figura 11 estão apresentados os valores de precipitação do GPM Early, representados em azul, e os valores da precipitação prevista pelo modelo ETA, representados em vermelho.

Figura 10 - Valores da precipitação para a Bacia do Igarapé Tarumã-Açu.



Fonte: Autora

Figura 11 - Valores da precipitação para a Bacia do Igarapé do Mindu.

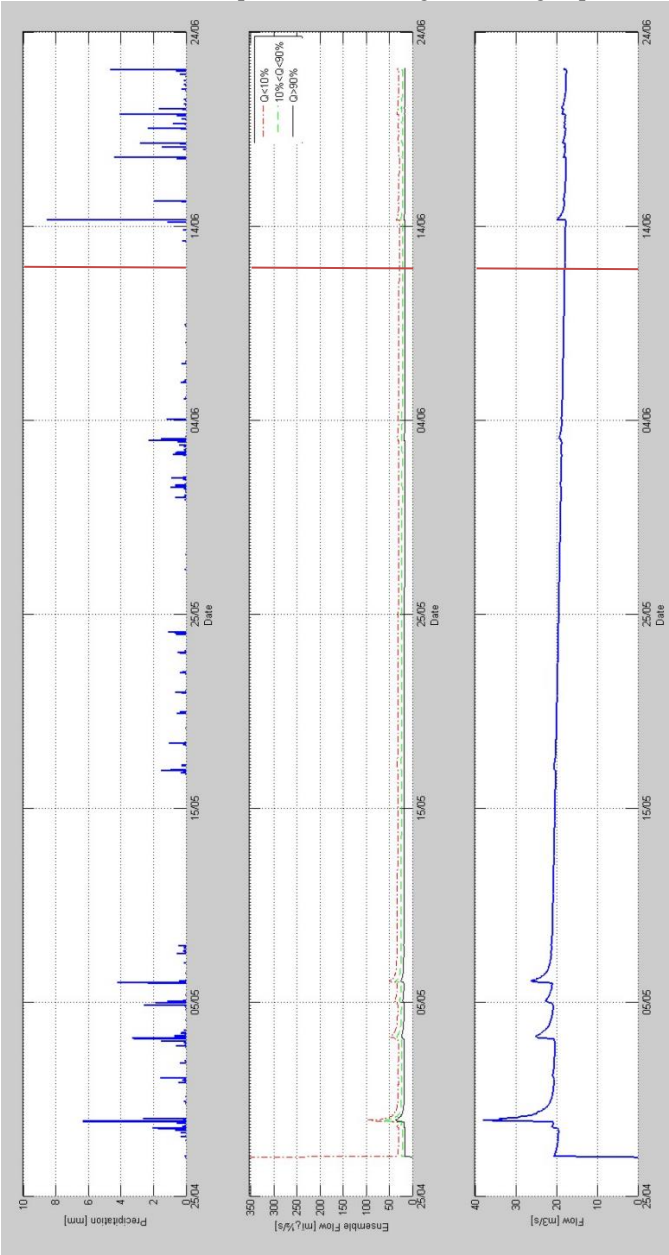


Fonte: Autora

Com os valores de precipitação, o modelo PM Tank Model, junto com a previsão por ensemble, gerou os valores de vazões que estão apresentados na Figura 12 e na Figura 13, nas quais apresentam três quadros. O primeiro quadro apresenta os valores de entrada da precipitação no modelo PM Tank Model. Os valores de precipitação do aquecimento e da previsão estão separados pela linha vermelha, sendo os do aquecimento abaixo, e os da previsão acima dela. O segundo e o terceiro quadro apresentam os valores das vazões calculadas pelo PM Tank Model. Os valores de vazão gerados pelo aquecimento do modelo estão abaixo da linha vermelha, e os valores previstos estão acima.

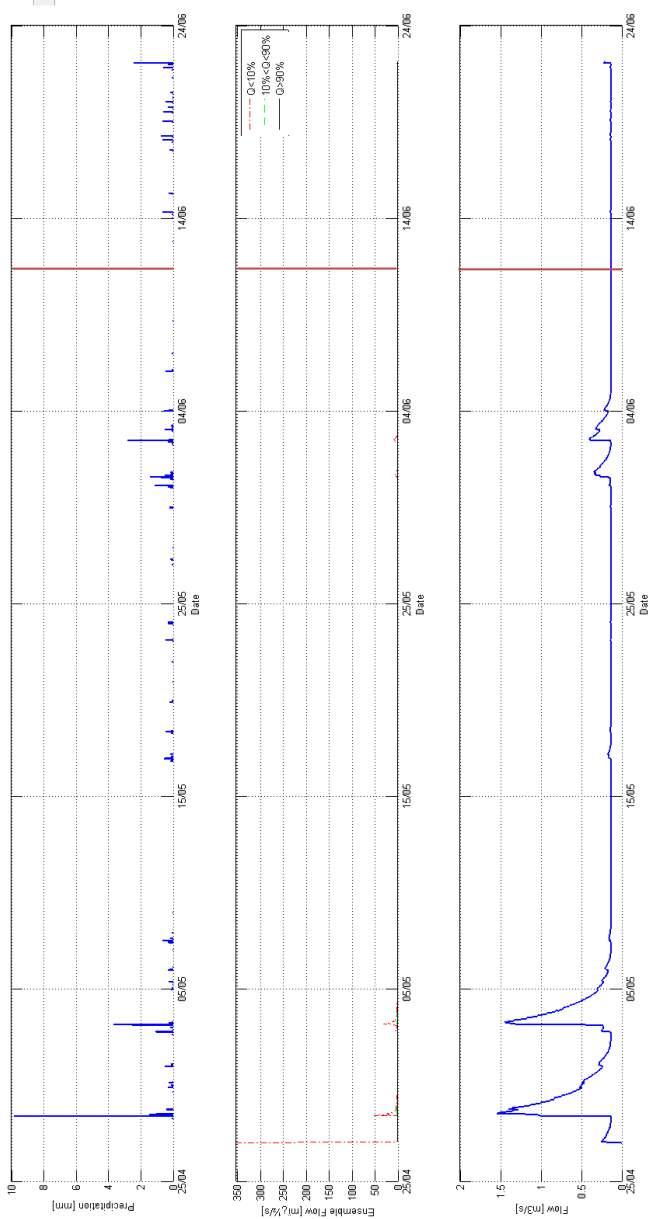


Figura 12 - Previsão de vazão para a bacia hidrográfica do Igarapé Tarumã-açu.



Fonte: Autora

Figura 13 - Resultado do Sistema SPEHC para a bacia hidrográfica do Igarapé do Mindu.



Fonte: Autora

Como os dados de entrada são incertos, a previsão por ensemble considera várias faixas de probabilidade, que estão representadas no segundo quadro. Os valores de vazão com probabilidade menor que 10 % de ocorrência estão representados pela linha pontilhada em vermelho, os valores de vazão com probabilidade entre 10% e 90% de ocorrência estão representados pela linha pontilhada em verde, e para os valores de vazão com probabilidade maior que 90% de ocorrência estão representados pela linha preta e pela linha azul, nos dois últimos quadros.

#### **4.2.1 Divulgação dos Resultados**

Depois de ajustado os parâmetros e aquecido o modelo, os resultados gerados pelo SPEHC foram inseridos na plataforma do website (Figura 14). Esta plataforma, já existente, disponibiliza boletins diários, que podem servir para alertar a população local.

Esses boletins ao serem gerados, além de ficarem disponíveis no site, podem ser enviados por e-mail.

Caso as vazões previstas atinjam valores de atenção e alerta, o SPEHC envia uma mensagem de alarme para aparelhos de telefonia móvel pelo aplicativo (Figura 15).

Figura 14 - Interface do site com as bacias em estudo.



Fonte: Fractal Engenharia.

Figura 15 - Alerta emitido pelo aplicativo do SPEHC de outra bacia.



Fonte: Fractal Engenharia.

#### 4.2.2 Plataforma Disponível no Site

Com base nos dados gerados no SPEHC, para o modelo de previsão meteorológico ETA, o site fornece os resultados para os próximos 11 dias (Figura 16 e Figura 17). O alcance da previsão varia de acordo com o modelo meteorológico e a grade de resolução escolhidos.

As previsões geradas para os próximos dias são mostradas em dois gráficos. O primeiro gráfico apresenta os valores previstos de precipitação. O segundo apresenta os valores estimados das vazões, e conforme explicado anteriormente, esses valores são previstos por ensemble, no qual está separado em três faixas de probabilidade de ocorrência.

Estas faixas estão representadas da seguinte forma: Os valores de vazão com probabilidade menor que 10 % de ocorrência estão

representados pela linha pontilhada em azul, os valores de vazão com probabilidade entre 10% e 90% de ocorrência estão representados pela linha pontilhada em cinza, e para os valores de vazão com probabilidade maior que 90% de ocorrência estão representados pela linha pontilhada preta.

Este gráfico também mostra os níveis de valores das vazões com duas condições, em amarelo a condição de atenção e em verde a condição normal. Neste estudo estes níveis foram arbitrados apenas para ilustrar, visto que não foi implantado o modelo hidráulico para definir os valores de forma precisa.

Figura 16 - Resultado do Sistema SPEHC para a bacia hidrográfica do Igarapé Tarumã-açu.

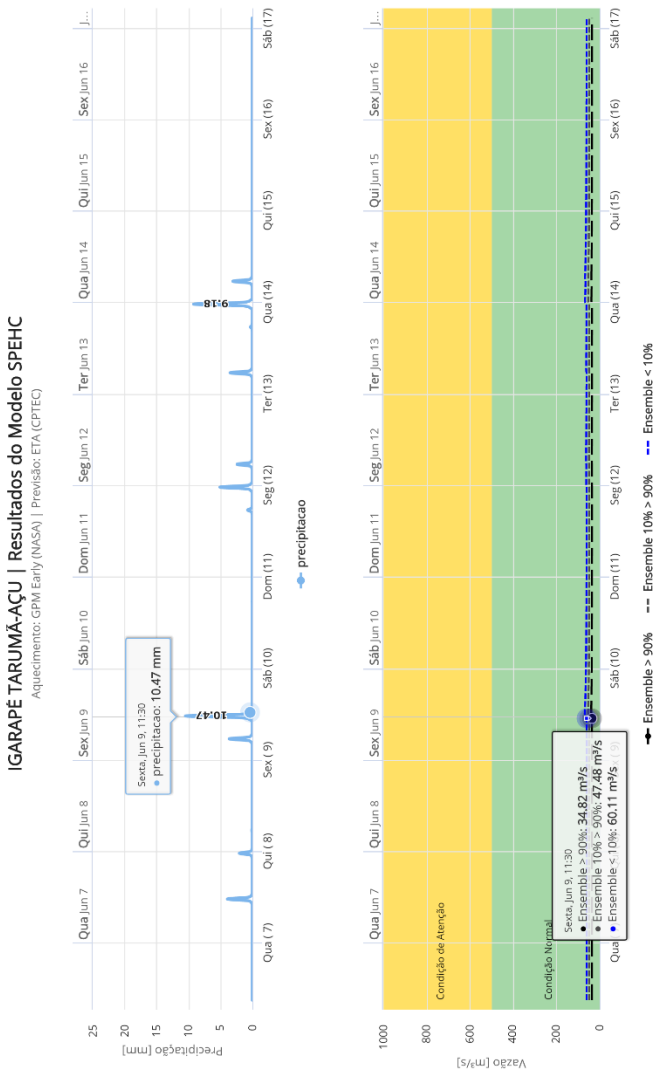
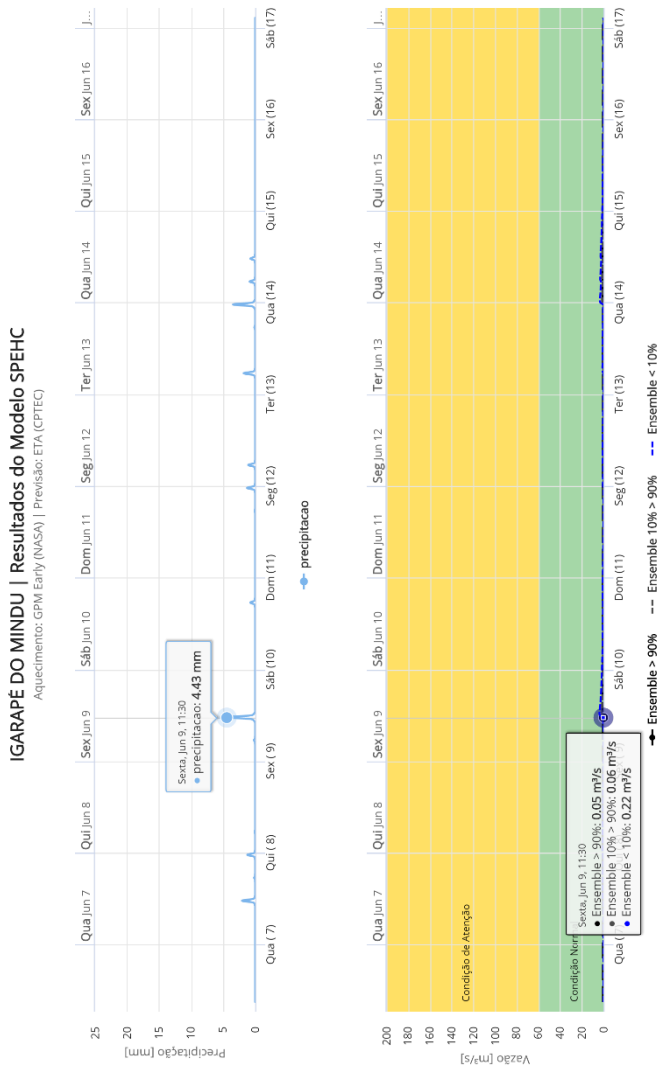


Figura 17 - Resultado do Sistema SPEHC para a bacia hidrográfica do Igarapé do Mindu.

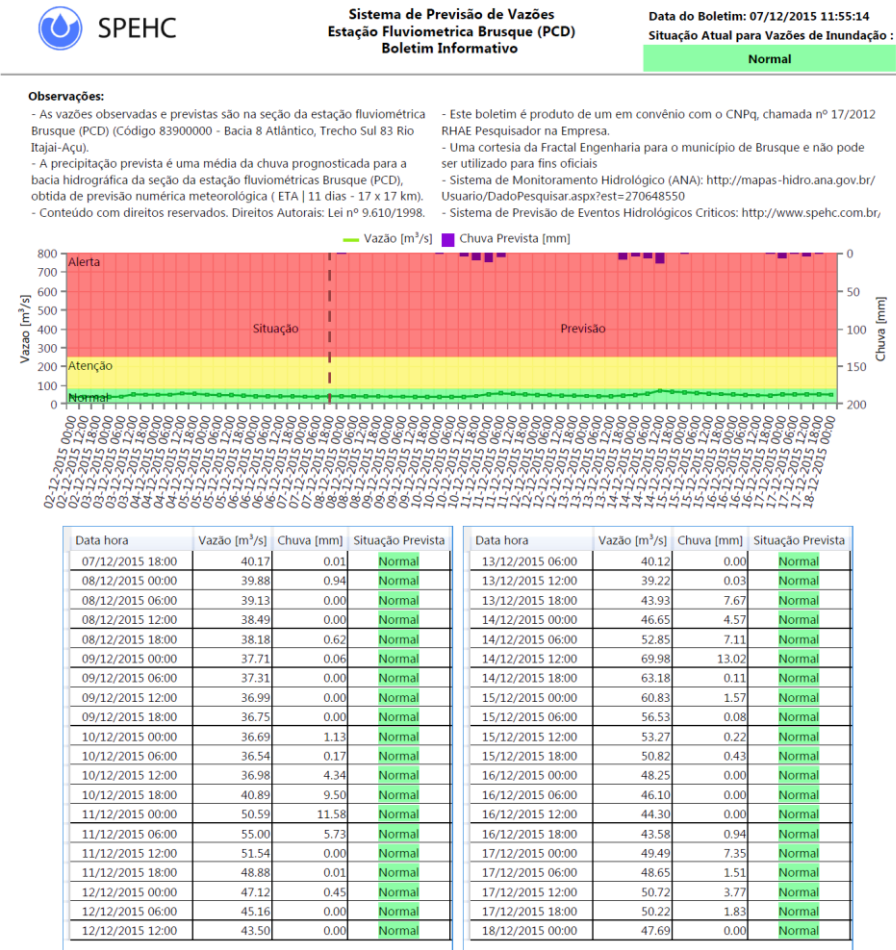




4.2.3 Boletins

O modelo antigo do boletim emitido pelo SPEHC é apresentado na Figura 18.

Figura 18 - Modelo de Boletim Emitido pelo SPEHC.



Este modelo de boletim apresenta os dados previstos de chuva e das vazões em gráficos. Esses valores são apresentados numa tabela para um intervalo de 6 horas, indicando a situação, se é normal, na cor verde, de atenção, na cor amarela ou de alerta, na cor vermelha.

As informações sobre as fontes dos dados utilizados são apresentadas na parte superior do boletim.

Visto que esse modelo apresentava somente os valores de chuva e vazão, sentiu-se a necessidade de incluir outros elementos para tentar deixá-lo com uma linguagem de fácil entendimento e visualização. Assim, foi proposto um novo modelo, apresentado na Figura 19.



Neste modelo foram acrescentados os seguintes elementos: uma breve descrição dos dados previstos; os valores da precipitação e da vazão prevista para os próximos 11 dias; o mapa com a provável mancha de inundação, caso ocorra; a curva chave do rio e um fluxograma de notificação.

Como o boletim é um instrumento disponível para todos, buscou-se descrever de forma sucinta e de fácil interpretação, os dados apresentados (Figura 20).

Figura 20 - Descrição dos dados previstos.

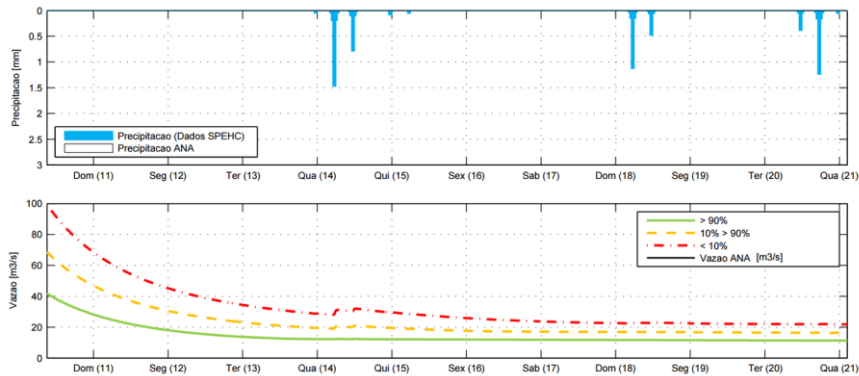


A Precipitação Antecedente de \_\_\_\_ (24 / 48 / 72) h foi de \_\_\_\_ mm, com isso o grau de saturação média do solo está em torno de \_\_\_\_ %. Para as condições de saturação do solo e com a Precipitação atual de \_\_\_\_ mm, a vazão estimada é de \_\_\_\_ m³/s. A situação é (de) \_\_\_\_ (Normal / Atenção / Alerta) para as áreas/cota/bairro \_\_\_\_, com grau de probabilidade de \_\_\_\_ %.  
Recomenda-se atenção para as áreas de risco alto e muito alto mapeadas.

Fonte: Autora.

Os hidrogramas e pluviogramas mostram a previsão das precipitações e do escoamento para os próximos 11 dias. Com eles, pode ser possível verificar quando e como pode ocorrer algum evento extremo (Figura 21).

Figura 21 - Pluviograma e hidrograma.



Fonte: Autora

O mapa com as possíveis superfícies atingidas, ilustrado na Figura 22, se torna um instrumento importante para a identificação da extensão do desastre. No alerta, as áreas afetadas são de rápida visualização, o que facilita as ações de Resposta, como as rotas de evacuação, busca de abrigos. O armazenamento dos boletins funciona como fonte de análise posterior, o que pode auxiliar na melhora da logística do desastre, já que os mesmos são normalmente cíclicos.

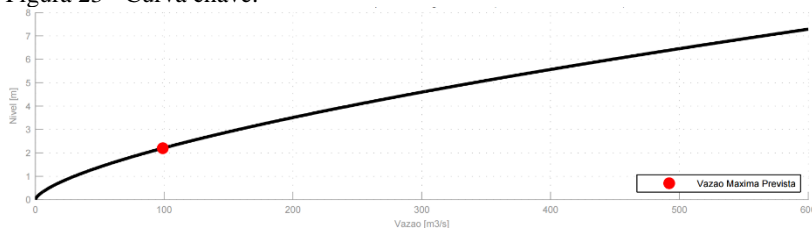
Figura 22 - Mapa com a mancha de inundação.



Fonte: Autora

A curva chave informa a previsão do nível do rio, o que permite a previsão de cheias e, por consequências de desastres (Figura 23). No entanto, para a população geral, ela é de difícil interpretação, servindo principalmente para os órgãos responsáveis pela defesa civil.

Figura 23 - Curva chave.

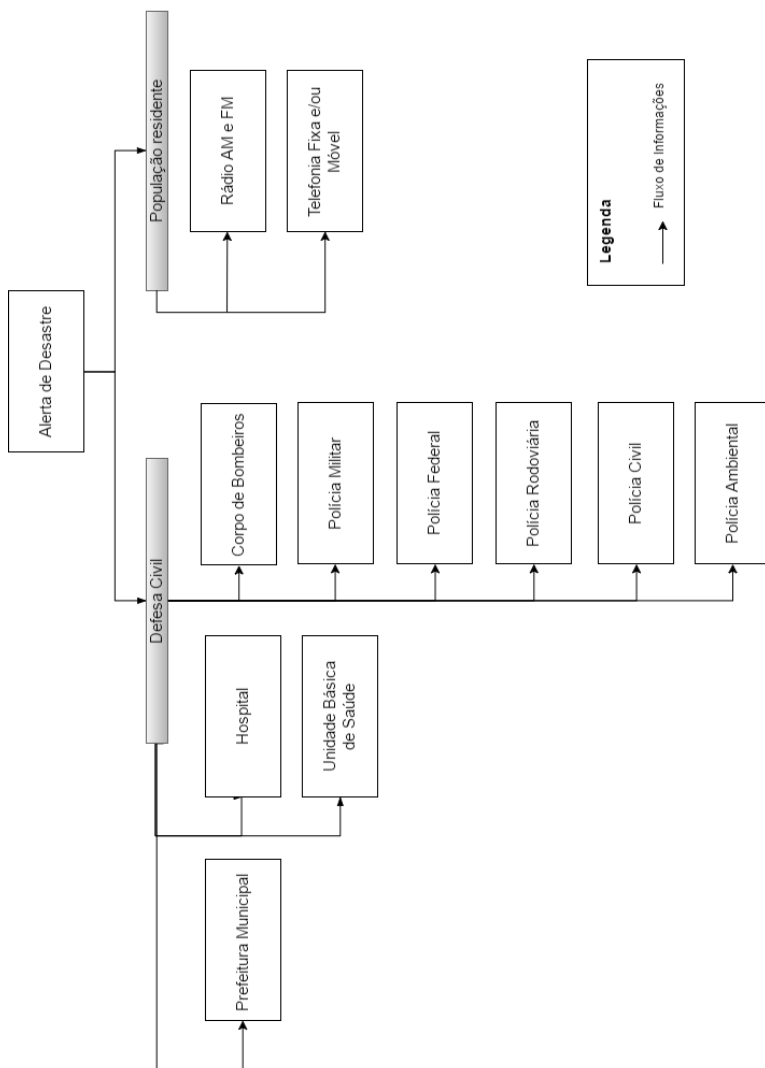


Fonte: Autora

O fluxograma de notificação, apresentado na Figura 24, denota as entidades responsáveis para divulgar o alerta e gerenciar os desastres. Isso

é importante pois permite que o cidadão comum saiba que acionar quando há a ocorrência desses eventos críticos.

Figura 24 - Fluxograma de notificação.



Fonte: Autora



## 5 CONCLUSÃO

O sistema de previsão foi implantado em Manaus, mas para ter um estudo completo aconselha-se fazer uma modelagem hidráulica para definir as cotas para as vazões de alerta.

O sistema SPEHC funciona em tempo real e assimila dados automaticamente, tornando-o mais confiável em suas previsões. Além disso, faz a análise de risco com ensemble, o que garante o mapeamento da incerteza da previsão e melhora a percepção de risco de quem utiliza a informação.

Dentre as características apresentadas, pode-se verificar que o sistema é uma ferramenta robusta no auxílio frente as tomadas de decisões quanto aos eventos hidrológicos extremos. Ele auxilia na mobilização das pessoas que estão nas áreas de risco, minimizando perdas e reduzindo o número de mortos e feridos das áreas.

Com a emissão de alerta por e-mail e aparelhos celulares, por meio dos boletins, o modelo fornece tempo para agir, ganhando agilidade com a advertência. Desta forma, estes alertas podem ser enviados para diversos órgãos, como a defesa civil, o corpo de bombeiros, a polícia, entre outros essenciais para coordenarem as melhores ações frente aos desastres.





## REFERÊNCIAS

BRASIL, Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nos 12.340, de 10 de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências.

BRIGHENTI, T. M. BONUMÁ, N. B. CHAFFE, P. L. B. Urban floods: Models used in Brazil. In: 6th International Conference on Flood Management - 'Floods in a changing Environment', 2014, São Paulo. Proceeding of the 6th International Conference on Flood Management - ICFM6, 2014. p. 1-8.

CASTRO, A. L. C. *Manual de Desastres: desastres naturais*. Brasília: Ministério da Integração Nacional. 2003. 174 p.

CHOU, S. C.; BUSTAMANTE, J. F.; GOMES, J. L.. Evaluation of seasonal precipitation forecasts over South America using Eta model. *Nonlin. Processes in Geophys.*, União Européia, v. 12, n. 4, p. 537-555, jun. 2005.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE MUNICÍPIOS (CNM). Defesa Civil e Prevenção de Desastres: Como seu município pode estar preparado. In: Coletânea Gestão Pública Municipal: Gestão 2017 -2020. Brasília: CNM, 2016. 68 p.

CORRÊA, J. C.. Características físicas de um latossolo amarelo muito argiloso do Estado do Amazonas, sob diferentes métodos de preparo de solo. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v. 20, n. 12, p. 1381-1387, dez. 1985.

COSTA, H. *Enchentes no Estado do Rio de Janeiro*: Uma abordagem Geral. 1. ed. Rio de Janeiro: SEMADS, 2001. 160 p.

DRUCKER, D. P.. Modelagem Hidrológica de uma Microbacia em Manaus, AM, Brasil. Contribuição Brasileira-Europeia ao Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia. *CARBONSINK-LBA*. Piracicaba, jan. 2001. 24 p.

EMPRESA BRASILEIRA PESQUISA E AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA - SPI, -006. 306 p.

FERREIRA, S. J. F. et al.. Umidade e armazenamento de água em diferentes topossequências em floresta primária na Amazônia Central. In: I Simpósio de Recursos Hídricos do Norte e Centro Oeste, 1., 2007, Cuiabá. *Anais...* Cuiabá, 2007. p. 1-11.

FRANKEN, W. LEOPOLDO, P. R. MATSUI, E. RIBEIRO, M. N. G.. Interceptação das precipitações em floresta amazônica de terra firme. *Acta Amaz.*, Manaus, v.12, supl. 3, p. 15-22, 1982.

FROTA FILHO, A. B.. *Análise da vulnerabilidade erosiva da Bacia Hidrográfica Colônia Antônio Aleixo, Manaus-AM*. 2016. 195 f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2016.

KOBIYAMA M., et al. *Prevenção de Desastres Naturais*. 1 ed. Curitiba: Organic Trading, 2006. 124 p.

KÖEPPEN, W.. *Climatologia: com un estudio de los climas de la tierra*. 1. ed. México: Fondo de Cultura Economica, 1948. 478 p.

LARA, P. G.; KOBIYAMA, M.. Proposta de Modelo Conceitual: PM Tank Model. *RBRH*, Porto Alegre, v. 17, n. 3, p. 149-161, jul./set. 2012.

LARA, P. G. et al.. SPEHC - Sistema de Previsão de Eventos Hidrológicos Críticos, In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 21., 2015, Brasília. *Anais Segurança Hídrica e Desenvolvimento Sustentável*. Porto alegre: ABRH, 2015. p. 1-8.

LEOPOLDO, P. R. FRANKEN, W. MATSUI, E. SALATI, E.. Estimativa de evapotranspiração de floresta amazônica de terra firma. *Acta Amaz.*, Manaus, v. 12, sulp. 3, p. 23-28, 1982.

MACENA, L. S. L.. *Áreas de risco nas bacias hidrográficas urbanizadas de Manaus*. 2016. 262 f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2016.

MIRANDA, J. S. N.. *Caracterização da vulnerabilidade intrínseca do Aquífero Alter do Chão na cidade de Manaus – AM*. 2017. 144 f. Dissertação (Mestrado em Geociências), Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2017.

RENNÓ, C. D. SOARES, J. V. *Modelos Hidrológicos para Gestão Ambiental*. Relatório. São José dos Campos: INPE, 2000. 65 p. (Relatório Técnico Parcial).

RESENDE, N. C. *Influência das condições do solo na previsão sazonal de extremos climáticos*. 2014. 192 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2014.

SECRETARIA ESTADUAL DE DEFESA CIVIL (SEDEC). Gestão de Riscos de Desastres. In: Seminários Regionais de Defesa Civil, 1. 2013, [Santa Catarina]. *Seminário...Santa Catarina*, [2014?]. 149 p. 1-149.

SECRETARIA NACIONAL DE DEFESA CIVIL (SINDEC). *Notificação Preliminar de Desastres*. Manaus, 2009. Nopred.

\_\_\_\_\_. *Formulário de Informação do Desastre*. Manaus, 2015. Fide.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Mapeamento das Áreas de Risco Geológico da Zona Urbana de Manaus. *Relatório*. Manaus, 2012. 67 p.

SILVA, E. O. *Cartas de estudos de riscos de planícies de inundações e áreas de movimentos de massas: análises e soluções de casos em Manaus*. 2016. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2016.

SILVEIRA, A. L. L.. Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. *RBRH*, Porto alegre, v. 10, n.1, p. 5-23, jan./mar. 2005.

SUGAWARA, M.. Tank Model. In: SINGH, V.P. (Ed.) *Computer Models of Watershed Hydrology*. Highlands Ranch: Water Resources Publications, 1995, p. 165-214.

TUCCI, C. E. M. Modelos hidrológicos. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRS, 2005. 678 p.

VIEIRA JUNIOR, P. A. et al . Previsões meteorológicas do Modelo Eta para subsidiar o uso de modelos de previsão agrícola no Centro-Sul do Brasil. Cienc. Rural, Santa Maria, v. 39, n. 2, p. 412-420, Abr. 2009.

WETHLI, K. Benefit-Cost Analysis for Risk Management: Summary of Selected Examples. World Development Report, 2014

WMO. Guide to Hydrological Practices. 6. Ed. Geneve: WMO, p. II-7.1 –II-7.31, 2009.